



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107424898 B

(45) 授权公告日 2021.03.19

(21) 申请号 201710358043.0

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2017.05.19

H01J 37/32 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

C23C 16/44 (2006.01)

申请公布号 CN 107424898 A

审查员 李荣荣

(43) 申请公布日 2017.12.01

(30) 优先权数据

1609119.1 2016.05.24 GB

(73) 专利权人 SPTS科技有限公司

地址 英国新港

(72) 发明人 凯瑟琳·克鲁克 马克·卡拉瑟斯
安德鲁·普赖斯

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司
责任公司 11287

代理人 章蕾

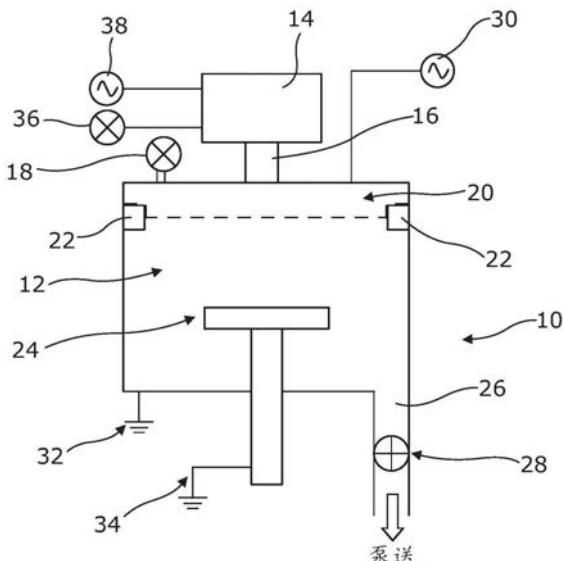
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

等离子体处理装置的清洁方法

(57) 摘要

根据本发明提供了一种使用自由基对等离子体处理装置的室进行清洁的方法，包括以下步骤：在与所述室分离的远程等离子体源内产生等离子体，所述等离子体包括自由基和离子；通过使得自由基能够从所述远程等离子体源进入所述室来清洁所述室，同时防止在所述远程等离子体源产生的离子的大部分进入所述室；对清洁过程中在所述室的组件上形成的DC偏置进行检测；以及使用所检测的DC偏置来确定所述清洁的终点，并且在确定所述终点时终止所述清洁。



1. 一种对等离子体处理装置的室进行清洁的方法,包括以下步骤:

在与所述室分离的远程等离子体源内产生等离子体,所述等离子体包括自由基和离子;

使用在所述远程等离子体源内产生的所述自由基通过使得所述自由基能够从所述远程等离子体源进入所述室来清洁所述室,同时防止在所述远程等离子体源产生的离子中的大部分进入所述室,且不在所述室内的任何地方产生带电粒子;

对清洁过程中在所述室的组件上形成的DC偏置进行检测;以及

使用所检测的DC偏置来确定所述清洁的终点,并且在确定所述终点时终止所述清洁。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述组件是进气口系统组件。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述组件用作在所述远程等离子体源中产生的自由基的导管。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中,所述组件是喷头。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述组件是设置于所述室内的衬底支承件、所述室的壁的电绝缘部分、或者泵送通道。

6. 根据权利要求1-5中任一权利要求所述的方法,其中,所述等离子体处理装置是PECVD装置。

7. 根据权利要求1-5中任一权利要求所述的方法,其中,所述终点是通过检测到所述DC偏置达到稳态来确定的。

8. 根据权利要求1-5中任一权利要求所述的方法,其中,所述清洁是使用F自由基执行的。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中,在所述远程等离子体源内产生的等离子体使用NF₃作为前驱物。

10. 根据权利要求1-5中任一权利要求所述的方法,其中,在所述室中沉积一个或更多介电膜之后清洁所述室。

11. 根据权利要求10所述的方法,其中,所述一个或更多介电膜中的每一者是含硅介电材料形成的膜。

12. 根据权利要求11所述的方法,其中,所述含硅介电材料是二氧化硅或氮化硅。

13. 一种等离子体处理装置,包括:

室;

远程等离子体源,其配置为在使用中产生包括自由基和离子的等离子体;

连接器,其将所述远程等离子体源与所述室分离并且使得在所述远程等离子体源内产生的所述自由基能够进入所述室,同时防止在所述远程等离子体源中产生的所述离子中的大部分进入所述室,以使得所述室能够通过自由基来清洁且带电粒子不在所述室内的任何地方产生;

探测器,其对清洁过程中在所述室的组件上形成的DC偏置进行检测;以及

控制器,其配置为使用所检测的DC偏置来确定所述清洁的终点,并且在确定所述终点时终止所述清洁。

14. 根据权利要求13所述的装置,其中,所述连接器是电绝缘的。

15. 根据权利要求13或14所述的装置,其中,所述连接器包括多个导气孔。

16. 根据权利要求13或14所述的装置,其中,所述装置是PECVD装置。

等离子体处理装置的清洁方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种对等离子体处理装置进行清洁的方法,该等离子处理装置的类型为具有用于生成自由基的远程等离子体源,该自由基用于执行清洁。本发明还涉及相关的等离子体处理装置。

背景技术

[0002] 在半导体产品的制作中,出于隔离和钝化目的而需要介电材料的PECVD (plasma enhanced chemical vapour deposition, 等离子体增强化学气相沉积) 沉积。这些处理能够用在从前端器件到后端的硅通孔 (TSV)、通道显露和中介层制作的应用中。在晶圆处理操作之间需要进行PECVD处理室的定期清洁以防止产生和积累污物粒子。这些污物粒子影响所沉积的介电膜的性能和可靠性,从而导致低晶圆产量和提前器件失效。通常使用两种技术来进行清洁。这些技术为直接等离子体清洁和远程等离子体源 (remote plasma source, RPS) 清洁。

[0003] 直接等离子体清洁包含在处理室中产生等离子体以用于清洁目的。诸如二氧化硅和氮化硅类型的基于硅的介电膜的直接等离子体清洁包括检测光终点信号以确定何时停止清洁过程。这通过以检测合适的辐射 (诸如来自电离氟的辐射) 来监视室中的等离子体强度实现。US 7354778公开了在直接等离子体清洁过程中的终点检测,其中,对等离子体发生器的DC偏置电压进行监视。因为等离子体发生器是直接等离子体清洁装置的一部分,所以清洁是通过在室中产生的电离处理气体执行的。因此,期望导致室中的DC偏置电压的带电粒子的浓度相对较高。

[0004] RPS清洁系统不在PECVD室内产生等离子体,并因此不可能检测室中的光终点信号,因为在室内没有等离子体来产生光输出。此外,PECVD处理室内没有带电粒子的直接源,这预期会显著降低可用于产生US 7354778中所检测到的类型的DC偏置信号的带电粒子的浓度。

[0005] 相比之下,与许多RPS清洁方法有关的优点在于主要通过自由基粒种来进行清洁。将远程等离子体源与发生清洁的PECVD室分离使得由清洁等离子体产生的带电粒种中的大多数无法进入PECVD室。随之造成的PECVD室中的离子轰击的减少的优点在于对室组件造成更小的磨损。随之而来的优点在于减小用于维护的室介入频率。

[0006] US 6079426、US 6543459和US2006/0090773描述了用于RPS装置的清洁终点检测。US 6079426和US2006/0090773描述了通过监视室压来检测清洁终点。US 6543459公开了一种用于远程微波等离子体清洁系统的清洁终点确定方法,其中对电容改变进行监视。另一终点检测技术使用清洁终点的红外检测。测量是在处理室下游的真空排气管进行的。该技术已经被美国马萨诸塞州梅休因市01844的万机仪器 (MKS Instruments) 公司商业化为过程感测 (RTM) 终点传感器。

发明内容

[0007] 本发明在其至少一些实施例中提供了对RPS清洁装置中的清洁终点进行检测的改进方法,该方法并不需要使用诸如光探测器器或红外探测器之类的额外的专业探测器。尽管本发明特定适用于PECVD装置的清洁,但本发明还能够用于其它处理装置的清洁。

[0008] 根据本发明的第一方面提供了一种使用自由基对等离子体处理装置的室进行清洁的方法,包括以下步骤:

[0009] 在与所述室分离的远程等离子体源内产生等离子体,所述等离子体包括自由基和离子;

[0010] 通过使得自由基能够从所述远程等离子体源进入所述室来清洁所述室,同时防止在所述远程等离子体源产生的离子的大部分进入所述室;

[0011] 对清洁过程中在所述室的组件上形成的DC偏置进行检测;以及

[0012] 使用所检测的DC偏置来确定所述清洁的终点,并且在确定所述终点时终止所述清洁。

[0013] 为了避免疑义,术语“自由基”(radical)指的是具有一个或多个未配对电子的不带电活性粒种。该粒种可以是原子或分子。

[0014] 极为意外的是,已经发现即便在清洁过程中在处理室中未产生带电粒子,在处理室的组件上也能够形成可测量且可使用的DC偏置信号。在清洁过程中,在远程等离子体源中产生离子和电子。然而,这些粒种寿命短暂并且其中的大部分并未到达处理室。事实上,期望在远程等离子体源中产生的大体上全部电子和离子(95%甚至更多)不到达处理室。相应地,极为意外的是,在处理室的组件上能够形成可测量且可用的DC偏置信号。DC偏置信号是很容易测量的并且不需要使用专业的额外探测器,例如光学探测器或红外探测器。额外的好处在于在进行清洁的处理室中直接进行检测。

[0015] 组件可以是进气口系统组件。组件可以用作在远程等离子体源中产生的自由基的导管。在一个实施例中,组件是喷头。正如技术读者所公知的,喷头可以是具有多个孔眼或其它开孔的气体供给元件。孔眼或其它开孔使得气体能够被均匀引入处理室12中。通常,喷头包括第一平板和第二平板,第一平板具有进气口,第二平板携带孔眼或其它开孔。第一平板和第二平板彼此分离以限定腔室。

[0016] 替代地,组件可以是衬底支承件。衬底支承件可以是台板。更替代地,组件可以是衬底支承件、所述室的壁的电绝缘部分、或者泵送通道。泵送通道可以是用于排气的导管,该导管是由室的一个或更多壁限定的。

[0017] 一般地,组件是由诸如金属之类的导电材料制成的。金属可以是铝。

[0018] 等离子体处理装置可以是PECVD装置。

[0019] 终点可以通过检测到DC偏置达到稳态来确定。

[0020] 清洁可以使用F自由基来执行。在远程等离子体源内产生的等离子体使用NF₃作为前驱物。

[0021] 可以在室中沉积一个或更多介电膜之后对室进行清洁。介电膜可以是含硅介电材料形成的膜。含硅介电材料可以是二氧化硅或氮化硅。

[0022] 可以在半导体衬底的等离子体处理之后执行清洁。半导体衬底可以是硅衬底。半导体衬底可以是诸如硅晶圆之类的半导体晶圆。

- [0023] 可以在电离或钝化等离子体处理步骤之后执行清洁。
- [0024] 可以在TSV、通道显露或中介层制作等离子体处理步骤之后执行清洁。
- [0025] 根据本发明的第二方面提供了一种等离子体处理装置,包括:
- [0026] 室;
- [0027] 远程等离子体源,其配置为在使用中产生包括自由基和离子的等离子体;
- [0028] 连接器,其将所述远程等离子体源与所述室分离并且使得自由基能够进入所述室,同时防止在所述远程等离子体源中产生的所述离子中的大部分进入所述室,以使得所述室能够通过自由基来清洁;
- [0029] 探测器,其对清洁过程中在所述室的组件上形成的DC偏置进行检测;以及
- [0030] 控制器,其配置为使用所检测的DC偏置来确定所述清洁的终点,并且在确定所述终点时终止所述清洁。
- [0031] 连接器可以是电绝缘的。连接器可以由诸如陶瓷之类的介电材料制成。
- [0032] 连接器可以包括多个导气孔。每个导气孔的直径可以小于10mm,优选地小于5mm。以此方式,基本上防止了在远程等离子体源中产生的等离子体到达室。
- [0033] 连接器可以包括塞子,塞子包括穿过该塞子的多个导气孔。
- [0034] 该装置可以是PECVD装置。
- [0035] 远程等离子体源可以是电感耦合等离子体(ICP)源或其它合适的等离子体源。
- [0036] 虽然上文对本发明进行了描述,但是本发明涵盖了上文中以及以下说明、附图或权利要求中给出的特征的任何创造性组合。例如,针对本发明的第一方面描述的任何特征在本发明的第二方面的组合中被公开,反之亦然。

附图说明

- [0037] 以下参照附图对符合本发明的方法和装置的实施例进行说明,在附图中:
- [0038] 图1示出了本发明的等离子体处理装置;
- [0039] 图2示出了在(铝喷头)125°C下沉积0.6微米的TEOS膜之后的清洁过程中的DC偏置和FTIR信号;
- [0040] 图3示出了在(铝喷头)125°C下沉积0.2微米的SiN膜之后的清洁过程中的DC偏置和FTIR信号;
- [0041] 图4示出了在(阳极氧化铝喷头)125°C下沉积1.05微米SiN/0.6微米的TEOS堆叠之后的清洁过程中的DC偏置和FTIR信号;
- [0042] 图5示出了阳极氧化铝喷头处作为针对10个晶圆重复运行的室清洁时间的函数的(a) DC偏置和(b) FTIR信号。

具体实施方式

- [0043] 图1示出了本发明的一种PECVD装置,一般地如10所示。PECVD装置10的类型为包括处理室12和远离处理室12放置的远程等离子体源14。远程等离子体源14通过隔离器16连接到处理室12。隔离器16具有气体供给通道。所提供的进气口系统包括合适的气体供给系统18,气体供给系统18用于将一个或多个处理气体提供给处理室12。进气口系统还包括喷头20,喷头20构成处理室12的顶部分。正如技术读者所公知的,喷头是具有多个孔眼或其它开

孔的气体供给元件。该多个孔眼或其它开孔使得气体能够被均匀引入处理室12的主体部分。从气体供给系统进入喷头20的气体在穿过孔眼或其它开孔进入处理室12的主体之前在喷头20的内部容积中形成气体储备。喷头是由诸如铝或其它合适的金属之类的导电材料制成的。在等离子体处理过程中,RF(射频)发生器30将RF电信号施加到喷头20上。喷头20通过陶瓷隔离器22与处理室12的其余部分电隔离。台板24位于处理室12内。晶圆或其它待处理工件被安装在台板24上。装置10还包括排气前级管道26,该排气前级管道26与合适的泵(未示出)连通。如图1中所示,FTIR(Fourier Transform Infrared Spectroscopy,傅里叶变换红外光谱学)监视系统28被提供用于对通过前级管道26的清洁副产物进行监视。FTIR监视系统28被包括在图1中所示的装置10中,从而提供比较数据以评估本发明的性能。FTIR监视系统28不形成本发明构思的一部分并且不是本发明的必需元件。处理室12在点32处接地,并且台板24在点34处接地。装置10还包括用于在清洁过程中测量在喷头20上形成的DC偏置的合适探测器(未示出)以及用于基于所测量的DC偏置确定清洁操作的终点的控制器(未示出)。一旦确定终点,控制器则结束清洁操作。控制器能够是计算机或者本领域中公知的基于控制装置的另一微处理器。通常,控制器还控制PECVD装置的其它操作。

[0044] 远程等离子体源14包括合适的等离子体发生装置以发起并维持由远程等离子体源气体供给系统36提供的气体氛围中的等离子体。远程等离子体源可以是由RF电源38供电的电感耦合等离子体(ICP)源。或者还可以设想其它形式的等离子体发生器。远程等离子体源14生成的等离子体包括高能激发粒子的混合,包括离子、电子和中性自由基粒种。在本发明中,处理室12的清洗主要由自由基执行,该自由基通过陶瓷隔离器16引入处理室12。陶瓷隔离器16将远程等离子体源14与处理室12上的喷头20电隔离。隔离器16包括在陶瓷中例如通过穿孔形成的一系列具有较小直径的孔。在一个实施例中,在隔离器中形成一系列直径约为3mm的孔以防止在远程等离子体源14中生成的等离子体到达喷头20的背面。在远程等离子体源14中产生的等离子体生成的自由基通过隔离器16中的这一系列孔并且穿过喷头22进入处理室12。这些自由基被用于清洁处理室12的表面。例如,通过自由基清洁将在发生在处理室12中的处理过程中沉积的介电膜从室表面移除。因为处理室12充分隔离于远程等离子体源14中的清洁等离子体,粒子轰击大幅减小,从而导致室组件上磨损更小并因此降低为了维护的室介入频率。

[0045] 注意到在清洁过程中在室12的特定组件上形成DC偏置。随着室中的介电膜被清洁,观察到DC偏置的改变。已经意识到DC偏置能够指示清洁过程何时完成。特别地,DC偏置中的平稳或其它稳态情况能够表示清洁过程完成。令人惊讶的是,室中的DC偏置是可观测的并且能够用于确定清洁终点。在不希望受到任何特定理论或推测限制的情况下,认为在室的组件上观测到的DC偏置是由于存在离子和电子,该离子和电子到达组件并且在组件上引起小的正电荷或负电荷。考虑到在远程等离子体源14中引起的等离子体中产生的带电离子和电子的寿命相对较短以及远程等离子体源14分离于处理室12,这是令人惊讶的。在清洁过程中对喷头20上的感生DC偏置进行监视是尤其方便的。应当理解,在被设计为在清洁操作之前的装置10的常规操作过程中,喷头是RF带电的(RF live)。在清洁开始之前移除RF,并且喷头20在清洁过程中是电浮动的(electrically floating)。从室的各部分进行的膜厚度测量显示喷头具有待移除的最厚的介电膜沉积物。这是因为在等离子体处理过程中,喷头是RF带电的。能够看出,一旦喷头被清洁,室的其余部分也被清洁。因而,喷头上的

DC偏置的测量是确定清洁操作的真正终点的特别有效途径。

[0046] 在沉积一系列介电膜之后执行对图1的PECVD装置的清洁的试验。通过将NF₃引入远程等离子体源14并生成电离并离解NF₃分子的电感耦合等离子体来执行清洁。这导致产生氟自由基以及负离子、正离子和电子，氟自由基中的一些处于激发态。氟自由基被用于清洁处理室12。

[0047] 如图1中所示的PECVD装置用于将一系列的介电膜沉积在硅晶圆上。在沉积所期望类型的介电膜之后，执行处理室的清洁。通过检测喷头上的感生DC偏置以及通过清洁前级管道中的副产物获得的FTIR信号来监视清洁过程。所沉积的一系列的膜包括氧化硅、氮化硅以及包括氮化硅层和氧化硅层的膜堆叠。氧化硅膜通过不同的方法来沉积，也就是使用四乙基原硅酸盐(TEOS)和硅烷作为前驱物的已知技术。通过使用从125°C至350°C的沉积温度来产生厚度在100nm到3.2微米之间的膜。使用铝和阳极氧化铝喷头。在表1中对结果进行了概述。图2、3和4示出了在沉积大量膜之后的清洁过程中获得的感生DC偏置信号100和FTIR信号102。更特别地，图2涉及在125°C下使用TEOS方法沉积0.6微米二氧化硅膜之后使用铝喷头的清洁。DC偏置信号100和FTIR 102信号二者在120秒周围是平稳的，表示室是清洁的。图3关于在125°C下沉积0.2微米氮化硅之后使用铝喷头的清洁。DC偏置100信号和FTIR 102信号二者在80秒附近是平稳的，表示处理室是清洁的。与使用TEOS方法(图2)沉积的二氧化硅膜相比，所获得的稳态DC偏置是更加负的。图4关于在125°C下沉积介电膜堆叠之后使用阳极氧化铝喷头的清洁。堆叠包括使用TEOS方法沉积的1.05微米厚的氮化硅膜层和0.6微米厚的二氧化硅层。DC偏置100信号和FTIR 102信号二者在110秒周围是平稳的，表示处理室是清洁的。

样本编号	膜类型	厚度 (μm)	喷头类型	沉积温度 ($^{\circ}\text{C}$)	到终点的时间 (秒)
图 2	SiO ₂ (TEOS)	2.7	Al	125	300
图 3	SiO ₂ (TEOS)	0.6	Al	125	120
图 4	SiN	0.2	Al	125	80
图 5	SiN+SiO ₂	1.05+0.6	Al	125	120
图 6	SiO ₂ (TEOS)	0.5	Al	350	150
图 7	SiN+SiO ₂	1.05+0.6	阳极氧化铝	125	110

[0048] [0049] 实践中，终点检测的再现性对于维持稳定的操作状态是重要的。针对10个晶圆进行试验，在沉积介电堆叠之后的清洁之间以两个晶圆进行重复。介电堆叠包括在125°C下沉积的1.05微米厚的氮化硅层和0.6微米厚的二氧化硅层。二氧化硅层使用TEOS方法进行沉积。图5(a)示出了在清洁过程中获得的DC偏置信号150。图5(b)示出了在清洁过程中获得的FTIR信号152。能够看出具有高重复度。特别地，DC偏置信号和FTIR信号二者可再现地在240秒周围是平稳的。这表示在使用在远程等离子体源中产生的自由基的清洁过程中监视处理室组件上的DC偏置是检测清洁终点的可靠途径。

[0050] 在表1中总结且在图2至5中示出的结果指出喷头上的感生DC偏置与前级管道FTIR信号之间的关联。事实上，FTIR信号略微滞后于DC偏置信号。这被认为是由于不同的采样方法造成的。DC偏置采样是在实时进行清洁的室中执行的。相比之下，FTIR监视在处理室外部一定距离处的前级管道中执行。可以根据在终点之前获得的相对响应DC偏置信号得到处理信息。

[0051] 观察到所获得的清洁终点的时间并不直接与膜厚度成正比。这不是期望的,因为其它的因素被认为参与到确定终点时间中。相关因素包括膜的类型以及用于沉积膜的工艺。不同的工艺和膜的类型在室中不同地沉积,从而导致移除不均匀的涂层。例如,一种氮化硅工艺与另一种氮化硅沉积工艺相比可以在喷头的边缘处沉积更厚的膜。这会导致终点时间的不同。清洁工艺发展已经显示了,沉积材料的刻蚀速率在喷头的边缘处略低于中心处。因而,与喷头的中心处的更厚的膜相比,在喷头的边缘处的更厚的膜将花费更长的时间来清洁。与不同的膜相关的DC偏置信号在绝对值和整体形状方面是彼此不同的。这能够归因于不同类型的膜具有不同的介电特性。认为这改变了整体的室阻抗,从而导致感生DC偏置具有小的差异。除此以外,认为不同的工艺在室的不同区域中沉积介电膜,从而导致整体室阻抗具有小的改变。认为是室阻抗的微妙改变造成了喷头的感生DC偏置的小的差异。

[0052] 尽管喷头是用于监视处理室中的感生DC偏置的特别便利的组件,但是处理室中其上能够感生DC偏置的其它组件可以被监视。例如,可以在进气口系统上的其它组件上、室的壁的电绝缘部分上、台板上或者室的泵送通道上监视DC偏置。

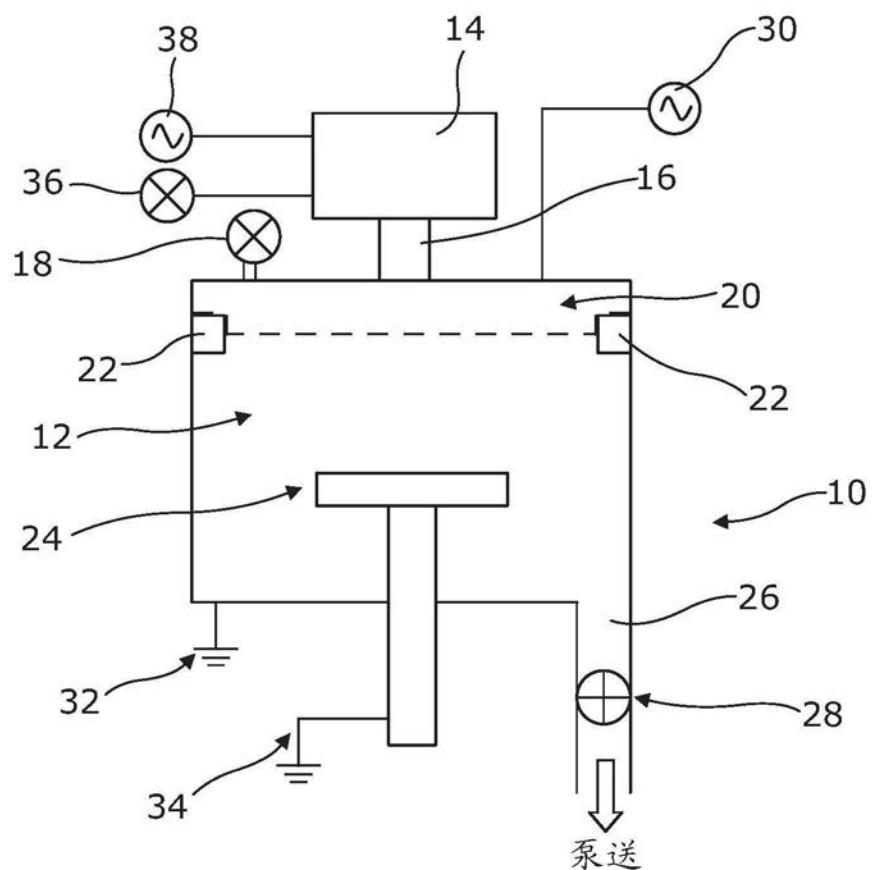


图1

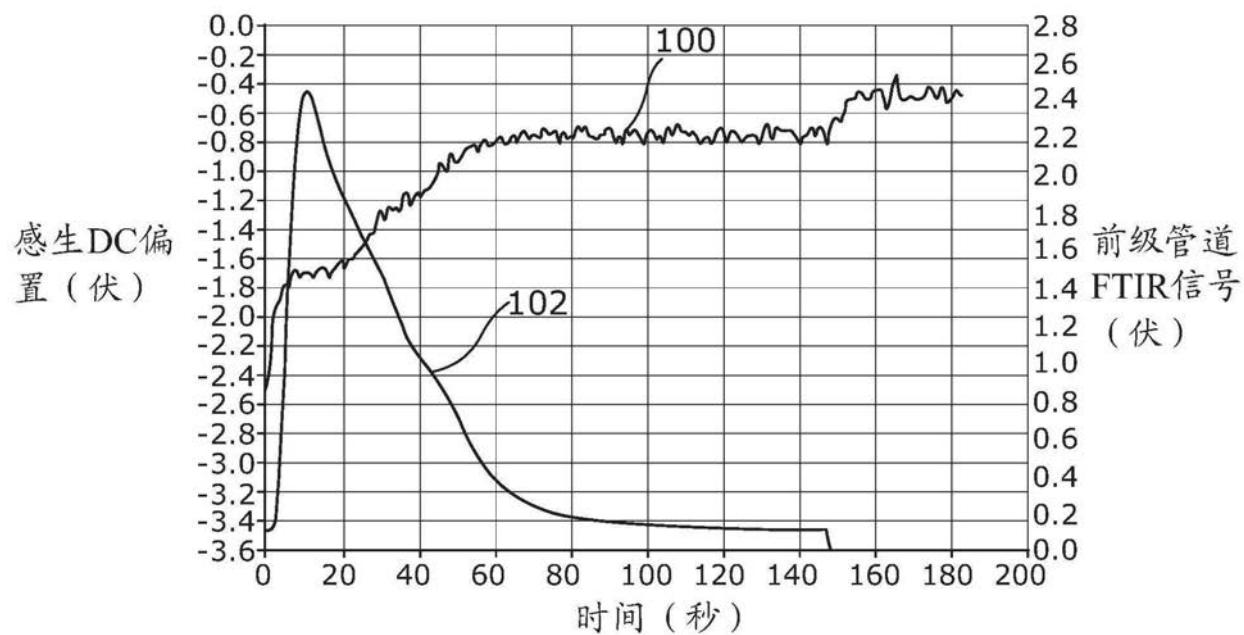


图2

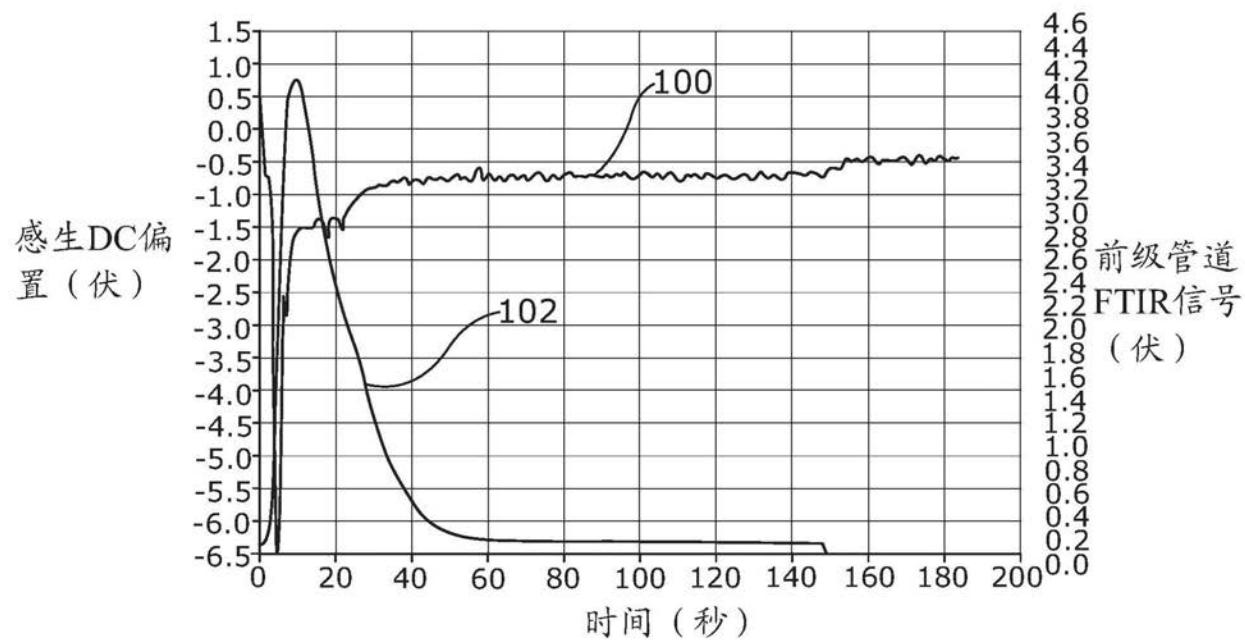


图3

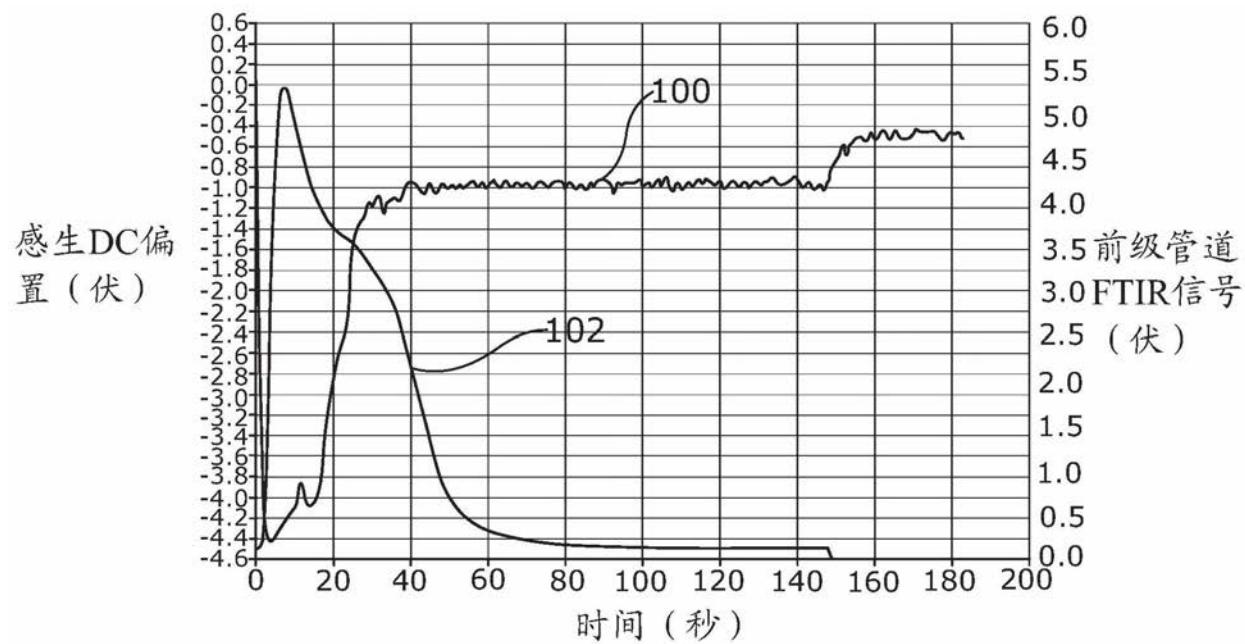


图4

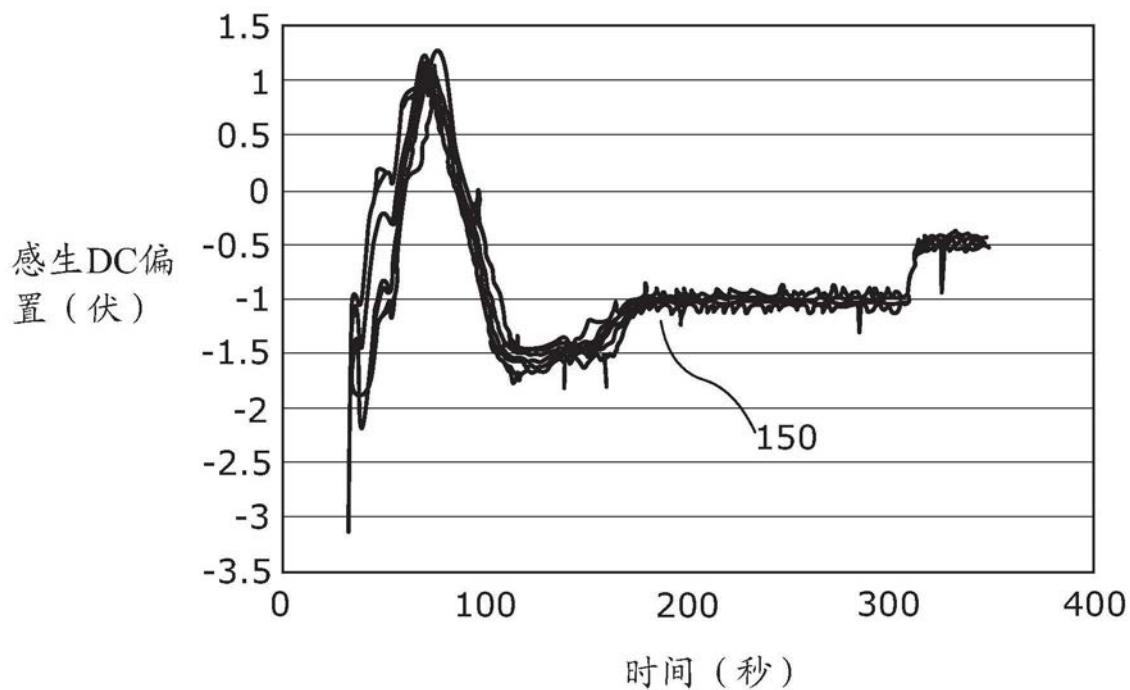


图5A

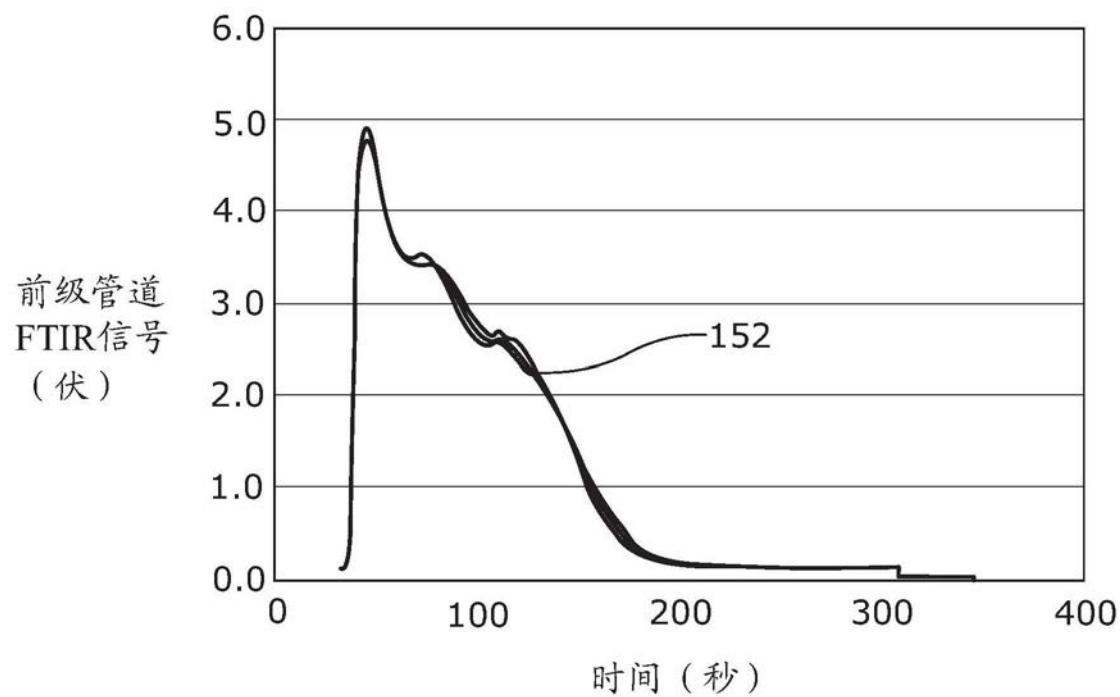


图5B